

## **HİDROJEN EKONOMİSİNE DOĞRU**

**Özgür ASLAN\***

### **ÖZET**

*Fosil temelli yakıtların kullanılması küresel ısınma, asit yağmurları ve hava kalitesinin azalması gibi çevresel problemlere yol açmaktadır. Diğer yandan, fosil yakıtlara aşırı bağımlık ülkelerin enerji arz güvenliğini de tehlikeye sokmaktadır. Son yıllarda hidrojen, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir yakıt alternatifini olarak dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, çalışmada hidrojen enerjisi ve ekonomisi konuları genel olarak tanıtılmakta ve Avrupa Birliği, Litvanya ve Japonya'nın hidrojen ekonomisine geçiş için yaptığı çalışmalar incelenmektedir.*

*Anahtar Kelimeler: Hidrojen, Hidrojen Ekonomisi, Yakıt Hücreleri, Avrupa Birliği*

### **TOWARDS A HYDROGEN ECONOMY**

#### **ABSTRACT**

Utilization of fossil based fuels lead to environmental problems, such as global warming, acid rains and air pollution. Furthermore, excessive dependency on fossil fuels has threaten energy supply security of countries, especially which don't have any fossil resources. Recently, hydrogen has emerge not only environmentally but also economically as an alternative fuel. This paper aims to generally introduce hydrogen energy and economy, and to examine policies implemented by European Union, Lithuania and Japan related to hydrogen.

*Keywords: Hydrogen, Hydrogen Economy, Fuel Cells, European Union*

---

\* Arş. Gör. İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü.

## 1. GİRİŞ

Enerji 21. yy'da toplumun biçimini etkileyecek en önemli faktör olabilir. Enerjinin maliyeti ve mevcudiyeti, yaşam kalitemizle, ulusal ekonomilerin sağlığıyla, uluslar arasındaki ilişkiler ve çevremizin istikrarı ile yakından ilişkilidir (Fanchi, 2005: 171). Enerji, ekonomik büyümenin sürdürülebilmesi açısından kritik bir unsurdur. Buna karşın, enerji ihtiyacını karşılamak için fosil temelli yakıtların kullanılması, küresel ısınma, asit yağmurları ve hava kalitesinin düşmesi gibi çevresel problemlere yol açmakta ve sürdürülebilir kalkınmayı, sürdürülemez hale getirmektedir. Ekonomik ve politik açıdan ise, fosil kaynaklara ve bu kaynakların ithalatına aşırı bağımlılık, bu kaynakların fiyatlarındaki yükselmeler ve aşırı oynamalar dolayısıyla, özellikle gelişmekte olan ülkelerin ekonomileri üzerinde baskı yapmakla birlikte, bu ülkelerdeki enerji arz güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.

Günümüzde, tüm dünyada alternatif enerji kaynaklarından enerji elde etmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda, güneş, rüzgâr ve yenilenebilir biyokütle ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir kaynakların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, fosil kaynaklara göre oldukça az olmasına karşın, aralıklı olarak kullanılabilirliklerinden ve teknolojilerinin tam olarak gelişmemiş olması gibi nedenlerle, enerji arzı açısından bazı kısıtlara sahiptirler. Birçok enerji uzmanına göre, yenilenebilir kaynakların kısıtlı yönleri, tüm alanlarda hidrojen enerji sistemi kullanılarak çözülebilir. Hidrojen, birincil enerji kaynağı değil, bir enerji taşıyıcısıdır. Dolayısıyla, üretilmiş enerjiyi bir yerden başka bir yere taşıyabilir ve yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojen fosil kaynaklardan elde edilebildiği gibi, yenilenebilir enerji kaynaklarından da temiz bir şekilde elde edilebilir. Hidrojen durağan güç üretme tesislerinde, ulaştırma alanında içten yanmalı bir motorda veya bir yakıt hücresinde kullanılabilir ve bunun sonucu ortaya çıkan salınım "su"dur.

## 2. HİDROJENİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Yalnızca bir proton ve bir elektrondan oluşan ve periyodik tablonun başında yer alan hidrojen, en hafif elementtir. Hidrojen evrendeki en bol bulunan elementlerden biridir. Dünyadaki görünür maddelerin % 90'ından fazlası hidrojenden oluşmuştur. Güneş ise tamamıyla hidrojenden oluşmuş bir yıldızdır. Dünyamızın güneşten aldığı enerji, hidrojenin füzyon tepkimesi sonucunda helyuma dönüşmesiyle ortaya çıkan enerjidir. Renksiz kokusuz, tatsız ve zehirsiz özelliklere sahip hidrojen, içten yanmalı motorda yakıldığında neredeyse hiç zararlı emisyon açığa çıkarmaz ve tek yan ürün sudur (Johnston vd. 2005: 570). Hidrojen saf haliyle ve oda sıcaklığında iki atomlu bir gaz oluşturmaktadır. Bu gaz, havanın 14'te biri yoğunluğa sahip olduğundan, havada hızla dağılmaktadır. Hidrojenin sıvı hale getirilmesi, enerji yoğun bir süreçtir ve hidrojenin -253 dereceye kadar soğutulmasını gerektirmektedir.

Evrendeki en bol bulunan element olmasına karşın, hidrojen gezegenimizde saf halde bulunmamaktadır. Hidrojen, suda oksijenle birleşik olarak ve fosil yakıtlarda

ve sayısız hidrokarbon bileşiklerde, karbon ve diğer elementlerle birleşik halde bulunmaktadır (Penner, 2006: 34).

### **3. YAKIT OLARAK HİDROJEN**

Bir enerji taşıyıcısı ve yakıt olarak hidrojenin taşıdığı potansiyel, yaklaşık 200 yıldan beri bilinmektedir. 1805 yılında Isaac de Rivaz tarafından icat edilen erken içten yanmalı motor, hidrojenle çalışmaktadır. Bundan yaklaşık 90 yıl sonra Alman mucit Rudolf Diesel, toz haline getirilmiş kömürü (karbon ve hidrojen) kullanan dizel motoru icat etmiş ve mükemmelleştirmiştir. Gelecek bilimci Jules Verne, hidrojenle ilgili görüşünü “Gizemli Ada” adlı romanında ortaya koymuştur. Jules Verne'nin kitabının basımından yüzyıl sonra, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler enerji, ekonomi ve çevre güvenliği sorunlarına potansiyel çözüm olarak, hidrojen ekonomisinin evrimini hızlandırmayı kabul etmişlerdir (Dixon, 2007: 325).

Hidrojen birincil enerji kaynağı değil, bir enerji taşıyıcısıdır. Elektriğe benzemektedir, fakat ondan daha verimli bir şekilde enerjiyi taşıyabilir. Hidrojen için geleceğin ideal yakıtı denilmektedir. İdeal bir yakıtta bulunması istenen özellikler ise şöyle sıralanabilir. Kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilmeli, taşınırken enerji kaybı hiç veya çok az olmalı, her yerde kullanılabilmeli, depolanabilmeli, tükenmez olmalı, temiz olmalı, birim kütle başına yüksek kalori değerine sahip olmalı, değişik şekillerde, örneğin, doğrudan yakarak veya kimyasal yolla kullanılmalı, güvenli olmalı, ısı, elektrik veya mekanik enerjiye kolaylıkla dönüşebilmeli, çevre üzerinde hiç olumsuz etkisi olmamalı, çok yüksek verimle enerji üretebilmeli, karbon içermemeli, ekonomik ve çok hafif olmalıdır (Şahin, 2006: 123).

Hidrojenin hızla dağılma özelliğinden dolayı, herhangi bir tehlike anında hızla yukarı doğru uçtuğundan, diğer gazlar gibi tehlikeli değildir. Bir yangın olayında, hidrojen gazı hemen yanar ve hızla yukarı çıkar. Diğer gaz ve yakıtlar ise yanarken çevrelerinde tahribata yol açarlar. 1 kg sıvı hale getirilmiş hidrojenin ısı değeri 120 milyon joule'dir. 1 kg sıvı uçak yakıtının ısı değeri ise 44 milyon joule'dir. Hidrojenin ısı değeri tüm yakıtlardan fazladır. Hidrojenin bu özelliğinden dolayı, uzay araçlarında sıvı hidrojen kullanılmaktadır (İTO, 2005: 21).

Hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakların girişini kolaylaştırmak doğrultusunda kullanılabilir. Çünkü hem bir enerji taşıyıcısı, hem de pek çok yenilenebilir kaynağın aralıklı olma özelliğini dengelemek için bir depolama aracı olarak kullanılabilir. Yenilenebilir kaynakları ve hidrojeni kullanarak, hem elektrik sektörüne, hem de ulaştırma sektörüne hizmet sunulabilir (Clark ve Rifkin, 2006: 2631).

Hidrojen bir elektrik santralinde, içten yanmalı motorda veya bir yakıt hücresinde kullanılırsa, tek yan ürün sudur. Fakat bu durum, hidrojenin kirliliğe yol açmayan bir şekilde üretildiği anlamına gelmemektedir. Hidrojenin çevresel etkileri, hidrojenin üretilmesi sırasında, hidrojen yakıt döngüsünün başında belirlenmektedir.

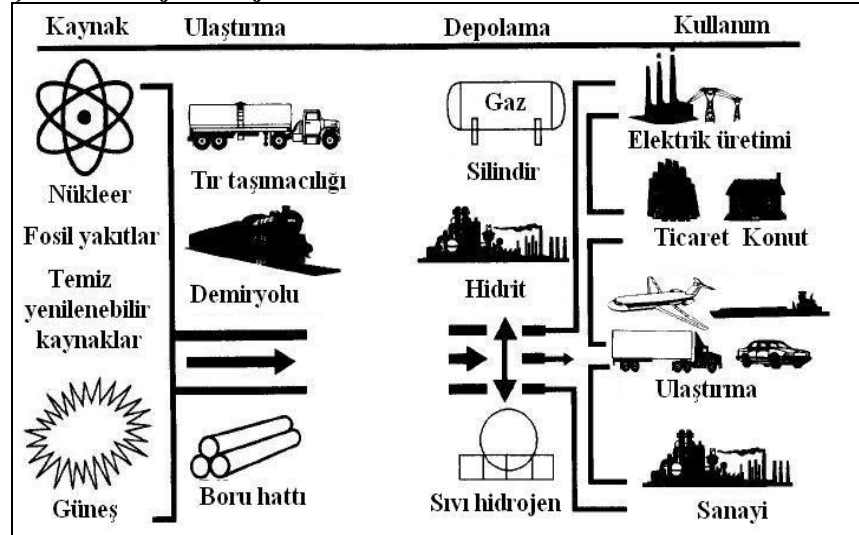
Su, hidrojen kaynağı olarak kullanıldığında, çevresel problemler daha az ortaya çıkmaktadır. Çünkü suyun içerisindeki hidrojenden sonraki diğer tek element oksijendir. Su dışında bir hidrojen kaynağı kullanıldığında, çevresel kaygılar artabilir. Bütün biyolojik temelli ve fosil kaynaklar, hidrojen üretildiğinde serbest kalan çok sayıda farklı molekül içermektedir. Genellikle bunlar, aynı kirleticileri özellikle de karbondioksiti meydana getirmektedir (Waegel vd., 2006: 290).

Alternatif olarak, nükleer enerji kullanarak hidrojen üretimine, dünya çapında ilgi uyanmaktadır. Buna karşın, elektrik üretmek için nükleer enerji kullanımının etkileri oldukça iyi bilinirken, nükleer reaktörleri kullanarak hidrojen üretmenin etkileri belirsizlik arz etmektedir (Forsberg, 2005: 485).

#### 4. HİDROJEN ENERJİSİ EKONOMİSİ

Karbonsuzlaştırmaya yönelik eğilim, birçok enerji tahmincisinin, hidrojenin gelecekte yakıt tercihi olacağı iddiasını yansıtmaktadır. Bu tahminler, güç tesislerinin ve motorlu araçların, hidrojenle çalışacağına inanmaktadır. Ortaya çıkan ekonomiler, hidrojene dayalı olacak ve hidrojen ekonomileri olarak adlandırılacaktır. Hidrojen ekonomisi kavramı yeni değildir. Ulusal ekonomiyi sürükleyen önemli bir yakıt kaynağı olarak hidrojenin kullanımı, ilk defa 20. yy'ın ortalarında büyük ölçekli nükleer elektrik üretme kapasitesinin kabul edilmesinde tamamlayıcı olarak keşfedilmiştir. Küresel ısınmayla ilgili kaygılar ve sürdürülebilir kalkınmaya ulaşma isteği, hidrojenin yakıt olarak kullanımına ilişkin ilgiyi canlandırmıştır (Fanchi, 2005: 143).

**Sekil 1: Hidrojen Enerji Sistemi**



**Kaynak:** Bockris, 1999: 3.

1974 yılında, hidrojen ekonomisi üzerine düzenlenen ilk konferans olan Hidrojen Ekonomisi Miami Enerji Konferansı (THEME) esnasında, hidrojen enerji sisteminin zamanı gelmiş bir fikir olduğu üzerine görüş birliğine varılmış ve toplantı, hidrojen enerjisi üzerine resmi bir kuruluşun gerekip gerekmediği konusuna gelmiştir. Yapılan tartışmalar sonucunda, aynı yılın sonlarına doğru, “Uluslararası Hidrojen Enerjisi Kurumu” kurulmuş ve çalışmaya başlamıştır (Veziroğlu, 2000: 1143).

THEME konferansından önce, bir enerji kaynağı olarak hidrojen enerjisi üzerine fazla eğilinilmemiştir. “Hidrojen enerjisi”, “hidrojen ekonomisi”, “hidrojen enerji sistemi” gibi kavramlar, enerji uzmanlarının büyük kısmı için bile bir anlam ifade etmemekteydi. Bugün ise bu kelimeler artık iyi bilinmektedir ve kabul edilmiş durumdadır. Sadece bilim adamları ve mühendisler değil, geniş halk kitleleleri bile bu kavramlarla karşılaşmaktadırlar. Popüler basında, hidrojenin geleceğin yakıtı olması, çevre için sağlayacağı faydalar ve hidrojen enerjisi teknolojilerinde yapılan çalışmalar hakkında daha fazla makale ve kitap göze çarpmaktadır (Veziroğlu, 2000: 1145).

Uluslararası Hidrojen Enerjisi Kurumu'nun ilk faaliyetlerinden biri, Hidrojen Enerjisi topluluğu için bir platform sunacak olan, Dünya Hidrojen Enerjisi Konferansları'nı (WHEC) düzenlemek olmuştur (Momirlan ve Veziroğlu, 2002: 162-163). Dünyanın birçok ülkesinde yapılan, WHEC konferanslarının sonuncusu Fransa Lyon'da 2006 yılında gerçekleştirilmiştir.

#### **4.1. Hidrojen Ekonomisine Geçişte Engeller**

Uzun dönemli amaç olarak, hidrojen ekonomisinin geliştirilmesi konusu üzerine olumlu gelişmelere karşın, teknolojinin hazır oluşu, piyasa kabulü ve hidrojen sektör yatırımlarıyla ilgili aşılması gereken sorunlar bulunmaktadır. ABD Ulusal Bilimler Akademisi tarafından hazırlanan bir rapor, bilim adamları ve mühendislerin, hidrojen ekonomisiyle ilgili tedirgin edici teknolojik problemlerle karşı karşıya olduklarını belirtmektedir (Dixon, 2007: 331). Hidrojen ekonomisi en son durumda, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen hidrojen üzerinde temellenecektir. Buna karşın, bu yolla hidrojen üretimi henüz ekonomik değildir. Ayrıca, hidrokarbonlardan hidrojene geçişin uzun bir zaman alması muhtemeldir (Midilli vd., 2005: 266).

Hidrojen yakıt döngüsünün hemen her aşamasında, verimlilik kayıpları ortaya çıkmaktadır. Üretimi ve depolanmasından, dağıtım ve bir yakıt hücresinde kullanılmasına kadar, verimde birikimsel azalmalar görülmektedir. Örneğin, 4 aşamadan oluşan bir süreçte, her bir aşamada % 90 verim olsa da, tüm verim % 60'ın altına düşmektedir (Waegel vd., 2006: 291).

Hidrojenin en hafif element olmasından dolayı, hidrojenin depolanması karmaşık bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Hidrojeni sıvılaştırmak, depolama hacmi sorununu çözmekte, fakat bu seferde, diğer teknolojik engelleri yaratmaktadır. Karbon

nanotüpler, metal hidritler ve yeni kimyasal reaktif materyaller gibi gelişmiş materyaller, hidrojeni depolamak için geliştirilmekte ve test edilmektedir. Hidrojen topluluğunda, materyal bilimindeki ilerlemelerin, hidrojen depolama zorluğunu çözmeye gerekli olduğu, yaygın şekilde kabul görmektedir (Dixon, 2007: 331).

Geleneksel olarak, otomobil ve ulaştırma yakıtı endüstrileri, büyük ölçüde birbirine bağlı olarak gelişmiştir. Bu da hidrojen ulaştırma ekonomisinin, ekonomik olarak gelişimini zorlaştıran bir durumdur. Hidrojen dolun istasyonlarının olmayışı, yakıt hücreli araç piyasasının kurulmasına ve gelişmesine engel olmaktadır (McDowall ve Eames, 2006: 1243). Ayrıca, hidrojen dolun istasyonlarının mı, yoksa hidrojen arabalarının ilk önce yapılması konusu da önem taşımaktadır. Örneğin, ABD gibi büyük bir ülkede enerji üretme, depolama ve dağıtma için gerekli olan altyapının, milyarlarca dolara mal olduğu tahmin edilmektedir. Genellikle, enerji altyapı yatırımları, değişen piyasa koşullarını karşılamak için daha sonra kolaylıkla değiştirilemeyen sabit bir enerji sistemine uzunca bir süre bağımlılık göstermektedir. Hidrojen tedarik piyasalarına yatırım yapanlar, hidrojen yakıtlı arabaların giderek büyüyen bir piyasası olduğuna ilişkin kanıt elde edene değin, hidrojen ekonomisi bağlamında pasif kalabilirler. Otomobil üreticileri de, onlara hizmet verecek hidrojen yakıtı dolun istasyonları yapılanaya değin, hidrojenle çalışan otomobiller üretmeyebilirler. Bundan dolayı, hidrojen teknolojisi için ölçek ekonomileri kuran sağlam bir ticari satış platformu oluşturmak, uzun zaman alan ve zor bir süreç olabilir (Waegel vd., 2006: 292).

Yakıt hücrelerinin ve diğer hidrojen teknolojilerin kitle kabulü için maliyet ve teknolojiyle ilgili sorunların üstesinden gelinmesi zorunludur (Midilli vd., 2005: 266). Günümüzde, yakıt hücresi fiyatları çok yüksektir ve bu da herhangi bir cihaz kullanımının, geleneksel bir güç kaynağı kullanıldığında ortaya çıkan maliyetten çok daha fazlaya mal olmasına yol açmaktadır. Bu durum, yakıt hücreli bir aracın günümüzde yaklaşık olarak 1,000,000 \$'a mal olduğu ulaştırma sektöründe, daha belirgin bir şekilde görülmektedir (Waegel vd., 2006: 292). Hidrojen araçlarının maliyetlerini düşürmek, ihtiyaç duyulan altyapıyı oluşturmak ve hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak etkili kullanımıyla ilgili teknik problemleri çözmek için, hem hükümet hem de sanayiden gelen büyük yatırımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Teknik problemleri çözmek ve hidrojen yakıt hücreli araçlar için ucuz parçalar geliştirmek için yıllar süren Ar-Ge çalışmalarının üstlenilmesi gerekebilecektir (Waegel vd., 2006: 293).

Hidrojen kullanan yakıt hücreleri, geleceğin araçları ve durağan güç üretimi için temiz ve etkin enerji tedariki için gelecek vaat etmektedir. Fakat bu, sadece hidrojen temiz şekilde üretilirse sağlanabilir (Midilli vd., 2005: 266). Yeşil hidrojen kaynaklarının çoğunun kullanımı, şu anda kullanımda olan geleneksel kaynaklardan daha pahalıdır. Güneş, biyokütle veya rüzgar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen, aynı enerji içeriğine sahip benzinden daha pahalıdır. Günümüzde, sadece doğal gazdan ve kömürden elde edilen hidrojen, benzinle rekabet edebilir durumdadır (Waegel vd., 2006: 292-293).

#### **4.2. Hidrojen Ekonomisine Geçişte Dikkat Edilecek Unsurlar**

Clark ve Rifkin'e göre, fosil yakıt temelli bir ekonomiden, yeşil hidrojen temelli (güneş rüzgar, su) bir ekonomiye geçişte, bazı kritik unsurlar dikkate alınmalıdır.

- Sanayileşmiş ülkeler, dizel yakıtlardan internete, her şeyin ticarileştirilmesini desteklemek için hükümetin Ar-Ge kaynaklarını kullanmışlardır. Devlet teşvikleri, vergi indirimleri ve hatta tedarik politikası, yeni teknolojilerin ticarileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yönetmelikler ve standartlar da bu amaca hizmet eden önemli politika araçları olarak kullanılabilir (Clark ve Rifkin, 2006: 2632).
- Küçük ve orta ölçekli işletmelerin hidrojen Ar-Ge ve yayma faaliyetlerine katılmalarının sağlanması gerekmektedir. Kaliforniya'da, KOBİ'ler tarafından oluşturulan yeni ileri teknolojilerin Ar-Ge'si ve uygulanması, son yıllarda büyümeyi harekete geçirmek için kullanılan en önemli ekonomik iticilerinden biri olmuştur (Clark ve Rifkin, 2006: 2633).
- Hidrojene geçiş çok büyük bir paradigma değişikliği olduğundan, sağlam ve iyi düşünülmüş bir değişim ihtiyacı göz önünde bulundurulmalıdır. Hidrojen ekonomisinin zamanında gelişimini ve kurulumunu hızlandırmak amacı doğrultusunda, hidrojen üretimi için tek geçiş yakıtı olarak doğal gazın görülmesi gerekmektedir (Clark ve Rifkin, 2006: 2634).
- Bir hidrojen ekonomisi geliştirmek için en önemli konulardan biri, dünyanın petrole ve kömüre bağımlılığıyla ilgilidir. Bu nedenledir ki, doğal gaz için gittikçe büyüyen bir piyasa oluşmuştur. Yakılmasının daha temiz olması dolayısıyla, daha fazla bölgede doğal gaz tesisleri inşa edilmiştir. Diğer yandan, zaman geçtikçe doğal gaz evlerde enerji, araba ve otobüslerde yakıt olarak daha fazla kullanıldığı için, temel enerji güvenliği sorunları sürmektedir. Çünkü artan kullanım, daha yüksek fiyatta, fakat istikrarsız olan ithal petrol ve benzine olan talebin artmasına neden olacaktır (Clark ve Rifkin, 2006: 2634).
- Enerji verimi ve enerjinin saklanması, sürdürülebilir bir hidrojen geleceğine entegre bir geçişin önemli unsurlarındandır. Enerjinin saklanması ve verimi, hem talebi düşürmek için, hem de güvenlik konularına dikkati çekmek açısından önemlidir (Clark ve Rifkin, 2006: 2635).
- Uluslararası ortaklık, gelişme sürecinde olan hidrojen ekonomisinden küresel ölçekte fayda sağlanması açısından önemlidir. Hidrojen ekonomisinin geliştirilmesi, tek bir ülkenin hedefi değildir (Milciuviene vd., 2006: 863).

Güneş, rüzgâr ve su, yenilenebilir enerji üretimi için potansiyel üç adaydır. Bu kaynaklar, bazı ülkelerde yaygın bir kullanıma ulaşmıştır. Hem barajlardan, hem de gelgit jeneratörlerinden elde edilen büyük ölçekli hidroelektriğin, ciddi çevresel zarar yaratma potansiyeli vardır. Rüzgâr gücü ekonomik açıdan elverişli

özelliklerine karşın, enerji dönüşümü ve depolanması için en uygun uzun vadeli ekonomik verimi ve güvenilirliği sağlamayabilir. Güneş enerjisini doğrudan kullanmak, en etkili yol olabilir. Günümüzde, ticari güneş enerji kullanım yöntemleri, fotovoltaik elektrik üretimi ve güneş-termal su ısıtmadır. Buna karşın, şu an güneş enerjisi kullanarak hidrojen üretmek için ticari olarak uygun herhangi bir yöntem bulunmamaktadır (Wilhelm ve Fowler, 2006: 278).

### **4.3. Hidrojen Ekonomisi Geçiş İçin Üç Senaryo**

Hidrojen ekonomisi bağlamında niş hidrojen ekonomisi senaryosu, geçiş hidrojen ekonomisi senaryosu ve sürdürülebilir hidrojen ekonomisi senaryosu olarak üç farklı senaryo düşünülebilir. Ekonomik, sosyal ve çevresel uygulamalar, her bir senaryo için büyük ölçüde farklılık göstermektedir (Waegel vd., 2006: 294).

#### **4.3.1. Niş Hidrojen Ekonomisi Senaryosu**

Bu senaryoda, hidrojen, filo araçları gibi, seçilmiş amaçlar için kullanılan bir yakıt olacaktır. Buna karşın hidrojen, ulusal enerji kullanımının sadece küçük bir bölümünü oluşturacaktır. Sonuç itibarıyla, hidrojen, bir yakıt olarak, yaygın kabulü ve erişilebilirliği sağlayamayacak ve sadece birkaç bölgede bulunacaktır. Ulaşım yakıtı olarak hidrojen, daha geniş müşteri kabulünü engelleyecek olan bölgesel parçalanmadan olumsuz etkilenecektir. Ayrıca, bölgeler arasındaki kanunlarda, standartlarda, altyapıda ve cihazlarda görülen belirgin farklılıklar, hidrojen anayoluna büyük zarar verebilir (Waegel vd., 2006: 294).

Hidrojenin hem endüstriyel hem de filo kullanımı, ek uygulamaları harekete geçirebilir. Fakat altyapı engelleri, geniş çaplı kullanımların önünde önemli bir engel olabilir. Niş hidrojen ekonomisi, teknoloji içindeki bütünlük eksikliğiyle ve hidrojen arz ve talebi arasındaki çatışma ile tanımlanmaktadır. Niş hidrojen ekonomisi, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak kullanımının istenilen faydalarını büyük ölçüde elde edemeyecektir. Hidrojen, enerji kullanımının çevre üzerindeki negatif etkilerini azaltacak veya yabancı enerji kaynaklarına olan bağlılığı düşürecek düzeyde kullanılmayacaktır. Altyapı ve teknoloji konusundaki yatırımlar, yeterli getiriler elde edemediğinden dolayı, hidrojen kullanımından sağlanan net ekonomik faydalar, belirsizlik arz etmeye devam edecektir (Waegel vd., 2006: 294).

#### **4.3.2. Geçiş Hidrojen Ekonomisi Senaryosu**

Bu senaryoda, hidrojen, enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü sağlayabilir. Hidrojen için birincil kaynak, oldukça düşük maliyetleri ve mevcut altyapının var olması dolayısıyla, fosil veya biyolojik yakıtlardır. Hidrojenin bölgeler içerisindeki depolanması ve dağıtılması arasında, belli bir bütünlük ortaya çıkacak ve ülke çapında hidrojen ağları gelişecektir. Bu sayede, insanlar ülkenin bir yanından diğer yanına, hidrojen yakıtlı araba ile gidebileceklerdir (Waegel vd., 2006: 294).



Ancak, bu senaryoya göre, ulusal enerji sistemi fosil yakıt temelli olmaya devam edecektir. Hidrojen enerjisini savunanların birçoğu, hidrojen ekonomisine geçiş için en güvenilir yolun, yakın dönemde önemli yakıt değişiklikleri olmadan, mevcut sistemi harekete geçirmek olduğuna inanmaktadır. Bu sistemdeki enerjinin büyük bölümü, mevcut enerji ekonomisine etkili bir şekilde bir aşama veya bir seçenek eklemek suretiyle, karbon-ağır kaynaklardan gelecektir. Kısmi bir iyileşme görülse de, fosil yakıtlarla ilgili çevre ve kaynak sorunları sürecektir. Özellikle hidrojen büyük ölçüde yerel doğal gazdan sağlanırsa, ulusal enerji güvenliğinde ılımlı ilerlemelerin ve düşük karbon salınımlarının olması beklenebilir (Waegel vd., 2006: 294).

### **4.3.3. Sürdürülebilir Hidrojen Ekonomisi Senaryosu**

Sürdürülebilir hidrojen ekonomisinin dikkat çeken unsurlardan biri hidrojenin kaynağı olacaktır. Bu senaryoda, yenilenebilir enerji kaynakları, hidrojen üretmek için kullanılacaktır ve bu görevi güneş ve rüzgar enerjisi yerine getirecektir (Waegel vd., 2006: 295).

Sürdürülebilir hidrojen ekonomisi senaryosu, yenilenebilir kaynaklara kaymadan önce, kalan doğal gaz rezervlerinin tüm avantajını kullanarak, ilk olarak geçici bir yol izleyebilir. Finansal olarak en pahalı senaryo ve teknolojik açıdan mevcut enerji durumundan en cesur ayrılış olsa da, sürdürülebilir bir hidrojen senaryosu muhtemelen enerji güvenliğiyle ve çevresel iyileşmelerle sonuçlanacaktır. Bu senaryo, sera gazları salınımlarını keskin bir biçimde azaltma umudunu verebilen tek hidrojen ekonomisi senaryosudur (Waegel vd., 2006: 295).

### **4.4. Dünyada Hidrojen Ekonomisine Geçiş Çalışmaları**

#### **4.4.1. Avrupa Birliği'nde Hidrojen Ekonomisine Geçiş Çalışmaları**

Eğer hiçbir faaliyet gösterilmezse, Avrupa Birliği 20-30 yıl içinde % 90 oranında petrol, % 70 oranında gaz ve % 100 oranında kömür ithalatına bağımlı hale gelecektir. Avrupa Komisyonu, “Bağımlılığımızın Üstesinden Gelelim” adlı raporunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yeni teknolojilerin, Avrupa Birliği'nde enerji arzının sağlanmasına yardımcı olabileceği belirtilmektedir. AB, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yeni teknolojilerin piyasaya girişini kolaylaştırmak doğrultusunda önlemler almalıdır. Yenilenebilir enerji için mali çerçevenin geliştirilmesi ve kabul edilmesi önemli bir adım olacaktır. Bu çerçeve telafi fonlarını, vergi teşviklerini, sabit fiyatları, Ar-Ge yardımlarını, elektrik ağlarına ulaşmada öncelik haklarını, sübvansiyon geliştirilmesi ve uygulamasını içermelidir (Milciuviene vd., 2006: 862).

2003 yılından itibaren hidrojen ekonomisi kavramı, AB'deki gelecek on yıllar için bir strateji haline gelmiştir. AB Komisyonu, bu strateji için uygun araçlar planlamayı amaçlamaktadır. 2003'te otomobil üreticilerinden, enerji sektöründen, araştırmacılarla birlikte, politika yapımcılardan oluşan Yüksek Düzey Grup “Hidrojen ve Yakıt Hücreleri: Geleceğimiz İçin Bir Vizyon” adlı final raporunu

hazırlamışlardır. Ocak 2004'te ise Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknoloji Platformu oluşturulmuş ve ilk toplantısını yapmıştır (Milciuviene vd., 2006: 862).

Avrupa Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknoloji Platformu, dünya klasmanında ve maliyet rekabeti sağlayacak, Avrupa hidrojen ve yakıt pili temelli enerji sistemlerinin geliştirilmesine ve bu sistemlerin ulaşım, durağan ve taşınabilir güçler için uygulanmasında yararlanılan teknolojilerin yayımına destek vermek ve bu süreci hızlandırmak amacıyla, 2003 yılında kurulmuştur. Bu sistemler gelecekte, Avrupa Enerji Politikası'nın sera etkisi yaratan gazların salınımının azaltılması ve arz güvenliğinin geliştirilmesi hedeflerine ulaşmak için anahtar araçlar olacaklardır (Tübitak, 2006: 17).

Avrupa Birliği Hidrojen Yakıt Hücresi Teknoloji Platformu'nun iki temel faaliyeti bulunmaktadır: Stratejik Araştırma Gündemini geliştirme ve Yayma Stratejisi. Stratejik Araştırma Gündemi 29 Mart 2004'te Hollanda'da başlatılmıştır. Altı çalışma grubu: (1) hidrojen üretimi (2) hidrojen dağıtım ve saklanması (güvenlik, standartlar vb.) (3) ulaştırma için yakıt hücreleri (4) durağan uygulamalar için yakıt hücreleri (5) taşınabilir yakıt hücreleri ve (6) sosyo-ekonomik alanlarda oluşturulmuştur. Bu alanlar için teknik ve teknik olmayan engeller tanımlanacak ve araştırma öncelikleri belirlenecektir. Yayma stratejisinin geliştirilmesi, ikinci büyük faaliyettir. Bu strateji hidrojen ve yakıt hücresi teknolojilerine geçiş yollarını, güvenliği, kodlar ve standartları ve olası ticarileşme yollarını içermektedir. AB, Ulusal, bölgesel ve yerel programlardaki yeni ve sürmekte olan Ar-Ge projeleri, yukarıda bahsedilen faaliyetlerin bütünleyici parçalarını teşkil edecektir (Zegers, 2006: 499).

Yayma Stratejisi, rekabetçi ve dünya klasmanında hidrojen teknolojisi ve yakıt hücresi uygulamalarını yayarken karşılaşılan teknik, sosyo-ekonomik ve politik zorlukları çözmeyi hedef almaktadır. Bu strateji gelecek 15 yılın yol haritası modellerini detaylandıran Kalkınma Raporu'nun da tamamlayıcısıdır. Yayma Stratejisi, 2020 yılı ile birlikte yakıt hücrelerinin taşınabilir uygulamalarının (bilgisayar, jeneratör) piyasaya girmeyi başaracağını tahmin etmektedir. Durağan yakıt hücreleri piyasasının büyümeye devam edeceğini ve karayolu taşımacılığı uygulamalarının yeni piyasalara açılacağını öngörmektedir (Tübitak, 2006: 19).

Avrupa çapında, hidrojenin farklı yönleri üzerine odaklanan çalışmalar vardır. Bu çalışmalar içerisinde, aşağıdaki projeler dikkat çekmektedir (Fernandes vd., 2005: 241-242).

- EIPH I ve II: Avrupa Entegre Hidrojen Projesi, araçlar için standart ve düzenlemelerin, araç ara yüzleriyle ilgili yakıt altyapısı için bileşen standartlarının, düşük ve yüksek basıncın avantaj ve dezavantajlarının tartışılması üzerinde durmaktadır.

- CUTE-Avrupa için temiz kent ulaştırması: Dünya çapındaki en büyük hidrojen yakıt hücreli otobüs filosu denemesi. 27 otobüsün 2 yıl boyunca, 9 Avrupa kentinde kullanılması.
- RES2H2-RES'in Avrupa'da hidrojen kullanan enerji sektörlerine entegrasyonu için Küme Pilot Projesi. Bu proje endüstriyel düzeyde, yeşil hidrojen üretiminin ve hidrojen depolanmasının fizibilitesini göstermektedir.
- ECTOS-Ekolojik Kent Ulaştırma Sistemi, sert İzlanda ikliminde yakıt hücreli otobüslerin performanslarını test etmeye yöneliktir.
- EURO-HYPORT-Yeşil hidrojenin, İzlanda'dan Avrupa Kıtasına taşınması üzerine bir fizibilite çalışması.
- FEBUSS-otobüsler ve durağan uygulamalar için standardize edilmiş Yakıt Hücresi Enerji Sistemleri. 2002-2007 yıllarını kapsayan Projenin amacı, toplu taşıma ve istasyonları uygulamalarına uygun, standardize optimal yakıt hücresi güç modülleri geliştirmektir.
- HYNET-Hidrojenin girişi için stratejiler geliştirmek ve hidrojenin pan-Avrupa'da bir enerji taşıyıcısı olarak kullanımını kolaylaştırmak için oluşturulmuş tematik ağ. Ağ, hidrojen üretimi, altyapısı, güvenliği ve düzenlenmesi konuları, sosyo-ekonomik konular ve kamu bilincinin teşvik edilmesi konularının altını çizmektedir.
- ACCEPTH2-Hidrojen ulaştırma teknolojileri kamu kabulü.
- CP2FC-Yakıt hücrelerinin teşviki için kritik yollar üzerine çalıştay.
- FUCHSIA, HYMOSES, HYSTORY-İleri hidrojen depolama materyalleri üzerine çalışan projeler kümesi. Birmingham Üniversitesi'nin FUCHSIA projesi, hidrojenin metal hidritlerde ve karbon nanotüplerde yerinde depolanması üzerinedir. HYMOSES ve HYSTORY farklı tür depolama/materyali ve uygulama alanı (durağan güç üretimi, denizcilik uygulamaları) üzerinedir.

#### **4.4.2. Litvanya'da Hidrojen Ekonomisine Geçiş Çalışmaları**

Litvanya'da hidrojen enerjisi teknolojileri konusundaki mevcut faaliyetler, Ar-Ge ve eğitimle ilgilidir. Bu faaliyetler kapsamındaki başlıca oyuncular, devlet üniversiteleri ve araştırma enstitüleridir. Buna karşın, hidrojen enerjisi teknolojilerinin ticarileştirilmesi açısından özel sektörün katılımı büyük önem taşımaktadır. Hidrojen enerjisi teknolojilerini teşvik etmeye çalışan Litvanya Hükümeti, hidrojen enerjisi teknolojileri için yeni materyallerin geliştirilmesine vurgu yaparak, nanoteknolojiler alanında bir öncelik olan ulusal Ar-Ge'yi

açıklamıştır. Litvanya hükümeti, nanoteknolojiler ve nanomateryallerle ilgili Ar-Ge'yi finanse etmek için, ek fonları onaylamıştır (Milciuviene vd., 2006: 864).

Litvanya Enerji Enstitüsü, Litvanya'daki enerji teknolojileriyle ilgili Ar-Ge faaliyetlerini koordine eden birimdir. Enstitü, Hidrojen Uygulama Anlaşmasının (Uluslararası Enerji Kurumu) üyesi durumundadır. Litvanya Enerji Enstitüsü, Vytautas Magnus Üniversitesi, Yarıiletken Fizik Enstitüsü ve Litvanya Bilimsel Topluluk Enstitüsü, Avrupa Birliğinden ortaklarıyla birlikte, 6. Çerçeve Programı ve ulusal fonlar tarafından finanse edilen Litvanya'daki Nanobilimler, Materyal ve Enerji üzerine bir "Yüksek Kalite Araştırma Ağı" kurmuştur. Bu ağın hedefi, hidrojen enerjisi teknolojileri için nanomateryallerin geliştirilmesi konusundaki ulusal faaliyetlerin koordinasyonunu sağlamak ve uluslararası işbirliğini teşvik etmektir (Milciuviene vd., 2006: 864).

2004 yılında bu yana, Litvanya Enerji Enstitüsü, Marie Curie Araştırma Eğitim Ağı "Hidrojen Depolama Araştırma Eğitim Ağı"na (HYTRAIN) katılmaktadır. Hidrojen Depolama Araştırma Eğitim Ağı'nın başlıca hedefleri, Ar-Ge faaliyetlerini hidrojen depolamaya entegre etmek ve Avrupa Birliğini, hidrojen depolama alanındaki en önemli uluslararası kilit oyuncu haline getirmektir. Hidrojen Depolama Araştırma Eğitim Ağı'nın temel araştırma hedefleri aşağıdadır (Milciuviene vd., 2006: 864).

- Tam mühendislik tasarımı bakış açısından, yenilikçi hidrojen depolama yöntemleri önermek ve değerlendirmek.
- Prototip aşamasına doğru hızlı değerlendirme ve gelişme sağlamak suretiyle, tavsiye edilen yeni (novel) hidrojen depolama materyallerine daha iyi bir tepki süresi sunmak.
- Araştırma sonuçlarının, ilgili mühendislik uygulamalarına hızlı biçimde transferini sağlamak.
- Temel araştırmanın sanayi, ekonomik ve sosyal unsurlar tarafından bilgilendirilmesini sağlamak.

Litvanya Enerji Enstitüsü ve Vytautas Magnus Üniversitesi, Litvanya Enerji Enstitüsü deneysel donanım kaynaklarıyla birlikte Vytautas Magnus Üniversitesinin eğitim hizmetlerine katılarak, faaliyetlerini Ar-Ge'den, eğitime doğru genişletmiştir. Son zamanlarda, Litvanya Enerji Enstitüsü ve Vytautas Magnus Üniversitesi, hidrojen enerjisi teknolojileri alanında eğitim kurslarının geliştirilmesi için Avrupa'dan yapısal fon kullanmıştır. Bu eğitimler, yüksek lisans ve doktora çalışmalarını hedeflemektedir. Bununla beraber, Litvanya Enerji Enstitüsü, Ar-Ge ve eğitim için donanım cihazları sağlamak için yapısal fon başvurusu yapmıştır. Bu bağlamda, Litvanya Enerji Enstitüsü ve Vytautas Magnus Üniversitesi, hidrojen enerjisi teknolojilerinde eğitim almış uzmanlar için bölgesel bir uzmanlık merkezi kurmaya çalışmaktadır. Merkez, sadece üst düzey uzmanlara eğitim vermekle

kalmayacak, toplumu eğitecek ve hidrojen enerjisi teknolojileri hakkında bilgi verme görevi üstlenecektir (Milciuviene vd., 2006: 864-865).

#### **4.4.3. Japonya'da Hidrojen Ekonomisine Geçiş Çalışmaları**

Japonya'nın WE-NET projesi, dünyada üzerinde en fazla durulan ve en geniş kapsamlı hidrojen programıdır. Japonya, enerji sistemini hidrojene çevirebilmek için yapmış olduğu planlar dahilinde, 2020'ye kadar 4 milyar dolar harcamayı öngörmektedir (Momirlan ve Veziroğlu, 2002: 171). Ayrıca Japonya, Pasifik Okyanusu'nun ekvatorial bölümünde yapay bir ada yapmayı ve deniz suyundan elektroliz yoluyla hidrojen üretmeyi planlamaktadır (Goltsov ve Veziroğlu, 2001: 911).

WE-NET projesinin 1993-98 yılları arasındaki ilk safhası farklı hidrojen teknolojilerinin fizibilite araştırması ve Japonya için bir vizyon planlamasına odaklanmıştır. Projenin 1999-2002 yılları arasındaki ikinci safhası, seçilmiş hidrojen teknolojileri ve altyapısının tanıtılması ve test edilmesinin yanında, ileri araştırma ve planlamaya odaklanmıştır. İlk iki safhanın Ar-Ge bütçesi yaklaşık 200 milyon dolar düzeyindedir. Hidrojenin Güvenli Kullanımındaki Temel Teknolojilerin Geliştirilmesi olarak adlandırılan izleyen projenin, 2020 yılına kadar süreceği düşünülmektedir. Japonya'da hidrojen enerji altyapısının tedrici yayılımı ve penetrasyonu projenin temel odağını oluşturmaktadır (Solomon ve Banerjee, 2006: 788).

Japon Hidrojen ve Yakıt Hücresi Kanıtlama Projesi 2002 yılında, büyük otomobil firmalarını, Japonya elektrik idaresi ve enerji firmalarıyla METI'nin ortak girişimince başlatılmıştır. Şu ana kadar bu proje altında yapılması düşünülen 11 yakıt istasyonunun 9'u Tokyo bölgesinde inşa edilmiştir ve istasyonların hepsi ayrı benzin ıslahı, metanol ıslahı, yüksek basınçlı gaz hidrojen depolama gibi farklı teknolojileri kullanmaktadır. Bu istasyonların işletilmesinden öğrenilenler, gelecekte ülkedeki yakıt doldurma altyapısının geliştirilmesine uygulanacaktır. Ayrıca, proje yakıt hücreli araba ve otobüsleri, gerçek koşullar altındaki performans, emniyet ve yakıt tüketimi ile ilgili bilgileri değerlendirmek için test etmeye başlamıştır. WE-NET projesi yakın dönemde yakıt hücreleri için en uygulanabilir teknolojilerin metanol ve benzin ıslahı olacağını tahmin etmektedir (Solomon ve Banerjee, 2006: 789).

Japonya sadece Ar-Ge çalışmaları ile değil, üretim planları açısından da dünyadaki hidrojen teknolojileri geliştirme yarışındaki önde giden oyuncularındır. Japonya'nın liderlikteki rolünü birkaç faktör etkilemektedir; Hükümetin Kyoto Protokolü çereçevesinde 2010 yılında sera gazlarının salınımını % 6 düzeyine düşürme bağlılığı, ülkenin ulaştırma için yüksek düzeyde ithalata bağımlı olması ve Japonya'nın hem imajı hem de ekonomisi bağlamında, yeni teknolojiler için ileri teknoloji süper gücü olarak pozisyonunu sürdürme gereksinimi (Solomon ve Banerjee, 2006: 788).

## 5. SONUÇ

Günümüzde, bir tarafta çevre kirliliğini ve küresel ısınmayı azaltmak, diğer taraftan da endüstriyel faaliyetleri, fosil yakıt enerjisine daha az bağımlı hale getirmek ve dünyanın enerji gereksinimlerini karşılamak üzere, uzun dönemli değişikliklerin yapılması zorunluluk olarak görülmektedir. Bu bağlamda, hidrojen enerjisi, diğer alternatiflere göre ön plana çıkan bir seçenek olarak dikkat çekmektedir. Hidrojen ekonomileri hidrojenin üretilmesi, depolanması, ulaştırılması ve kullanılması için yeni teknolojilere ihtiyaç duymaktadır. Hidrojen, hem fosil kaynaklardan hem de yenilenebilir enerji kaynaklardan elde edilebilir. Çevre ve enerji arz güvenliği konuları açısından en uygun seçenek, yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretimidir. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen hidrojen, sera gazları salınımını azaltma potansiyeli yanında, fosil kaynakların ithaline büyük ölçüde bağlı olan ülkelerin enerji arz güvenliğinin iyileştirmesine de yardımcı olabilir.

Hidrojen ekonomisine geçişte bazı engeller bulunmaktadır. Bu engellerin başında, tam gelişmemiş teknoloji, altyapının hazır olmayışı, hidrojen üretiminden kullanımına kadar geçen süreçte görülen verimlilik kayıpları ve hidrojeni yakıt olarak kullanan araçların yüksek düzeydeki maliyetleri sayılabilir. Bu açıdan bakıldığında, sürdürülebilir hidrojen ekonomisine geçişin daha birkaç on yıl alacağı düşünülebilir.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

Bockris, J. O'M. (1999); "Hydrogen economy in the future", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 24, Issue 1, s. 1-15.

Clark, Woodrow W. II ve Rifkin, Jeremy (2006); "A green hydrogen economy", **Energy Policy**, Vol. 34, Issue 17, s. 2630-2639.

Dixon, Robert K. (2007); "Advancing Towards a Hydrogen Energy Economy: Status, Opportunities and Barriers", **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Vol. 12, s. 325-341.

Fanchi, R. John (2005); **Energy in The 21st Century**, World Scientific Publishing Company.

Fernandes, T.R.C.; Chen, Fengzhen ve Carvalho, Maria da Graça (2005); "HySociety" in support of European hydrogen projects and EC policy", **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 30, s. 239-245.

Forsberg, Charles (2005); "Futures for Hydrogen Produced Using Nuclear Energy", **Progress in Nuclear Energy**, Vol. 47, No. 1-4, s. 484-495.

Goltsov, Victor A. ve Veziroğlu, T. Nejat (2001); “From hydrogen economy to hydrogen civilization”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 26, Issue 9, s. 909-915.

İTO (2005); **Hidrojen Enerji Sistemleri ve Türkiye Açısından Önemi**, Yayın No: 2005-27, İstanbul.

Johnston, Brenda; Mayo, Michael C. ve Khare, Anshuman (2005); “Hydrogen: the energy source for the 21st century”, **Technovation**, Vol. 25, Issue 6, s. 569-585.

McDowall, William ve Eames, Malcolm (2006); “Forecasts, scenarios, visions, backcasts and roadmaps to the hydrogen economy: A review of the hydrogen futures literature”, **Energy Policy**, Vol. 34, Issue 11, s. 1236-1250.

Midilli, A.; Ay, M.; Dincer, I. ve Rosen, M. A. (2005); “On hydrogen and hydrogen energy strategies: I: current status and needs”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 9, Issue 3, s. 255-271.

Milciuviene, S.; Milcius, D. ve Praneviciene, B. (2006); “Towards hydrogen economy in Lithuania”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 31, Issue 7, s. 861-866.

Momirlan, M. ve Veziroğlu, T. N. (2002); “Current status of hydrogen energy”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 6, Issues 1-2, s. 141-179.

Penner, S. S. (2006); “Steps toward the hydrogen economy”, **Energy**, Vol. 31, Issue 1, s. 33-43.

Solomon, Barry D. ve Banerjee, Abhijit (2006); “A global survey of hydrogen energy research, development and policy”, **Energy Policy**, Vol. 34, Issue 7, s. 781-792.

Şahin, Sümer (2006); “Nükleer Hidrojen Üretimi”, **III. Ulusal Hidrojen Enerjisi Bildiri Kitabı**, Der. Beyeç Görgün ve Sezen Alagöz, s. 123-128.

Tübitak (2006); **Avrupa Teknoloji Platformları Durum Raporu**, Avrupa Birliği Çerçeve Programları Müdürlüğü, Mayıs, Ankara.

Veziroğlu, T. Nejat (2000); “Quarter century of hydrogen movement 1974–2000”, **International Journal of Hydrogen Energy**, Vol. 25, Issue 12, s. 1143-1150.

Waegel A., Byrne J., Tobin D. ve Haney B. (2006); “Hydrogen Highways: Lessons on the Energy Technology-Policy Interface”, **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol. 26, No. 4, s. 288-298.

Wilhelm, E. ve Fowler, M. (2006); "A Technical and Economic Review of Solar Hydrogen Production Technologies", **Bulletin of Science, Technology & Society**, Vol. 26, s. 278-287.

Zegers, P. (2006); "Fuel cell commercialization: The key to a hydrogen economy", **Journal of Power Sources**, Vol. 154, Issue 2, s. 497-502.